

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-135099

(43)Date of publication of application : 23.05.1995

(51)Int.Cl.

H05H 7/00
G01R 33/02
G01R 33/035
H05H 13/04

(21)Application number : 05-279160

(71)Applicant : JAPAN ATOM ENERGY RES INST

(22)Date of filing : 09.11.1993

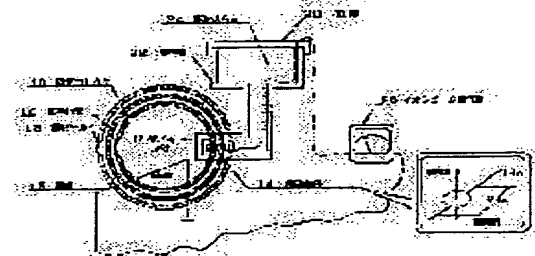
(72)Inventor : MIZUHASHI KIYOSHI

(54) ION BEAM CURRENT MEASURING DEVICE AND METHOD

(57)Abstract

PURPOSE: To provide a device and method to measure an ion beam current contactlessly at high precision without disconnecting flow of an ion beam accelerated by an accelerator or the like.

CONSTITUTION: A magnetic field by an ion beam inside vacuum piping 10 is introduced to a superconductive element 14 by a magnetism collector (permalloy) 16, and the superconductive element 14 cooled by a cooling part 20 detects a magnetic flux of the field to be displayed in an ion beam current meter 26, so an ion beam current is measured. A magnetic shield 18 is provided around the vacuum piping for eliminating effects of an external magnetic field.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 17.07.1996

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 08.06.1999

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

* NOTICES *

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.*** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] A magnetic field collection means for it to be generated by the flow of an ion beam and to collect the magnetic fields corresponding to said ion beam current, A magnetic-flux measurement means to have the superconducting element which induces the magnetic field collected by said magnetic field collection means, and to measure the magnetic flux of said magnetic field, A cooling means to cool said superconducting element to the temperature to which said superconducting element induces said magnetic field, Ion beam amperometry equipment characterized by having the magnetic-shielding means which carries out magnetic shielding of the space where said ion beam is flowing, said magnetic field collection means, and said superconducting element from the magnetic field of the exterior to these.

[Claim 2] The ion beam amperometry approach characterized by having the step which measures the magnetic flux of the magnetic field where the above except said external magnetic field was collected using the step which arises by the flow of an ion beam and collects the magnetic fields corresponding to said ion beam current except for the other external magnetic field, and the superconducting element cooled by the temperature which induces a magnetic field.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] This invention relates an ion beam current to non-contact and continuously measurable equipment and an approach especially about the equipment and the approach of measuring the ion beam current accelerated by the accelerator etc.

[0002]

[Description of the Prior Art] It considers as the approach of measuring the ion beam current accelerated by current, an accelerator, etc. with a sufficient precision, and there is the approach of using a Faraday cup. This approach catches an ion beam in a cup, and measures that amount of currents directly.

[0003] Moreover, the amount of beams is indirectly presumed from a beam profile monitor's peak value, or the approach of measuring the amount of currents driven in on the target is taken.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] Since the conventional approach was measured as described above, in order to catch an ion beam within a cup, while measuring the ion beam current, the ion beam exposure to a product etc. was not able to be performed. On the contrary, while performing the ion beam exposure to the product etc., an ion beam current was not able to be measured. Moreover, although a beam profile monitor may be used in measurement of the beam current under exposure to a product etc., since change of peak value does not express the ion beam current with this approach correctly, the amount of ion beams at the time of an exact exposure has not been measured. Furthermore, in the measurement which catches an ion beam on a target, since the effect which gives the amount of ion beam currents which the secondary electron generated the moment ion collided with the target should measure was large, and amended with the class and configuration of the target matter in consideration of this effect and the amount of ion beam currents was calculated, it was not able to measure with a sufficient precision.

[0005] This invention was made in order to solve the above troubles, and it aims at offering the equipment and the approach which are non-contact, namely, the effect of a secondary electron does not have, either and measure an ion beam current with a sufficient precision, without intercepting the flow of the ion beam accelerated by the accelerator etc.

[0006]

[Means for Solving the Problem] In order to attain the above-mentioned purpose, the ion beam amperometry equipment of this invention A magnetic field collection means for it to be generated by the flow of an ion beam and to collect the magnetic fields corresponding to said ion beam current, A magnetic-flux measurement means to have the superconducting element which induces the magnetic field collected by said magnetic field collection means, and to measure the magnetic flux of said magnetic field, It is characterized by having the magnetic-shielding means which carries out magnetic shielding of a cooling means to cool said superconducting element, the space where said ion beam is flowing and said magnetic field collection means, and said superconducting element to the temperature to which said superconducting element induces said magnetic field from the magnetic field of the exterior to these.

[0007] In order to attain the above-mentioned purpose, it is generated by the flow of an ion beam and the ion beam amperometry approach of this invention is characterized by having the step which measures the magnetic flux of the magnetic field where the above except said external magnetic field was collected using the step which collects the magnetic fields corresponding to said ion beam current except for the other external magnetic field, and the superconducting element cooled by the temperature which induces a magnetic field.

[0008]

[Function] In the ion beam amperometry equipment of this invention constituted as mentioned above, by sympathizing with the magnetic field where the magnetic field collection means was produced by the flow of said ion beam, the magnetic fields corresponding to said ion beam current were collected, and the above [the superconducting element cooled to the temperature which induces a magnetic field with a cooling means] was collected, said magnetic-flux measurement means measures the magnetic flux of the magnetic field concerned, and, thereby, an ion beam current is measured. In addition, since magnetic shielding of the space and the magnetic field collection means of by which the ion beam is flowing with the magnetic-shielding means, and the superconducting element is carried out from the magnetic field of the exterior to these, it becomes possible [a magnetic-flux measurement means] by said magnetic field collection means' and superconducting element's collecting only the magnetic fields produced by the ion beam except the external magnetic field used as a noise, and sympathizing with

the magnetic flux of the magnetic field to measure only the magnetic field which produced with a sufficient precision by the ion beam, therefore an ion beam current is measured with a sufficient precision.

[0009] In the ion beam amperometry approach of this invention constituted as mentioned above, the magnetic flux of the magnetic field where it was generated by the flow of said ion beam, the magnetic fields corresponding to said ion beam current were collected except for the other external magnetic field, and the above except said external magnetic field was collected using the superconducting element cooled to the temperature which induces a magnetic field is measured, and, thereby, an ion beam current is measured.

[0010]

[Example] The measurement principle of the ion beam current by introduction and this invention is expressed. The accelerated ion beam can consider that the inside of vacuous tubing is the flowing current. And according to the amount of currents, a magnetic field surely occurs at the place where a current flows. If this magnetic field is measured with a sufficient precision, it is possible to measure an ion beam current indirectly. However, like it, in order to measure few magnetic fields with a sufficient precision, since the magnetic field produced by the accelerated ion beam cannot be measured, it usually uses many superconducting elements with the fluxmeter using the usual coil etc. In addition, if a superconducting element is used, according to the purpose, measurement of a direct-current magnetic field and an alternating current magnetic field is possible.

[0011] Since the effect of the external magnetic field used as a noise will arise in that case if it is going to measure a minute magnetic field with sufficient sensibility, it is prepared so that magnetic shielding for preventing the effect may surround an ion beam. Moreover, in order to measure a minute magnetic field with sufficient sensibility and to make it measured value not change with the locations of the ion beam to the superconducting element which is a measurement component, the magnetic collector which consists of a permalloy which collects the generated magnetic fields efficiently and is led to a superconducting element is the surroundings of an ion beam, and it is prepared inside magnetic shielding. Furthermore, a superconducting element is intercepted from an outside-temperature environment with a heat insulator etc. in order to operate it to stability, and it is cooled to operating temperature by the cooling system.

[0012] Next, the measuring device of the ion beam current of this invention based on the above-mentioned measurement principle and one example of an approach are explained below with reference to a drawing. In addition, this invention is not limited to this example.

[0013] Drawing 1 shows a part of fundamental configuration of the measuring device of the ion beam current of this invention, and one example of an approach in the form of a sectional view. In drawing 1, 10 shows vacuum piping for which the ion beam 12 accelerated by the accelerator etc. is flowing the inside of it. The interior of the vacuum piping 10 is made into a vacua, and an ion beam 12 flows in the direction which intersects perpendicularly to the field of a form in the inside of it, i.e., a drawing. Since there are usually few magnetic fields which intersect perpendicularly in the direction by the ion beam 12 which is flowing, and are generated in the shape of a periphery focusing on the ion beam 12 concerned, in order to collect them and to lead to a superconducting element 14 efficiently, in the interior of the vacuum piping 10, an ion beam 12 is surrounded and the magnetic collector 16 made from the magnetic substance, such as a permalloy, is arranged in the shape of a ring. The superconducting element 14 is inserted in the piece place of the magnetic ring-like collector 16. In order to cover the interior of the vacuum piping 10 from the external magnetic field of the vacuum piping 10 which serves as a noise in order to collect only the magnetic fields generated by the ion beam 12, to lead to a superconducting element 14 and to detect only the magnetic flux of the magnetic field concerned by the superconducting element 14 with the magnetic collector 16, magnetic shielding 18 is formed so that it may be surrounded on the outside of the vacuum piping 10. Moreover, although not expressed by the drawing, magnetic shielding is prepared so that the superconduction detecting element which does not become the hindrance of a beam and contains the magnetic collector 16 and a superconducting element 14 may hide before and after this measurement system. The cooling section 20 for a superconducting element 14 to cool to the temperature which can detect a magnetic field is formed, and in order that the cooling section 20 may operate a superconducting element 14 to stability, it has the heat insulation section which consisted of heat insulators which insulate heat from the exterior, and the periphery section of the cooling section 20 is put into liquid nitrogen 22 as an object for the primary cooling of concrete, and is put into the liquid helium 24 which carries out an operation of the secondary cooling of concrete in the interior. The magnetic flux of the magnetic field detected by the superconducting element 14 is changed into a current, and is displayed by the ion beam ammeter 26 through a magnification control section (after-mentioned). In addition, in order to make an understanding easy, in a part of drawing 1, the relation of the minute magnetic field, and the current and the electrical potential difference in a superconducting element 14 is shown in ** type.

[0014] Drawing 2 shows the example which constituted the superconducting element 14 shown in drawing 1 and the ion beam ammeter 26, and the magnification control section of a superconducting element 14 from a well-known dcSQUID fluxmeter which contains two Joseph Seng components in the small superconduction loop formation of an inductance. the superconducting element which 14 consisted of in drawing 2 with the coil with which parallel connection of the two Joseph Seng components was carried out — 28 — the source of a direct current — in 30, 32 shows a lock-in amplifier, 34 shows an oscillator for amplifier, respectively, and the notation of L, C, and R shows a coil, a capacitor, and resistance, respectively.

[0015] Next, actuation of the measuring device of the ion beam current which is one example of this invention constituted as shown in drawing 1 and drawing 2 is described below. In drawing 1, the minute magnetic fields produced when the beam which had the inside of the magnetic-shielding 18 vacuum piping 10 carried out ionized

runs are collected by the magnetic collector 16, and are led to a superconducting element 14. Under the present circumstances, since the vacuum piping 10 interior is covered from the external magnetic field with magnetic shielding 18, the magnetic collector 16 collects only the magnetic fields produced by the ion beam 12, and leads them to a superconducting element 14. The superconducting element 14 is beforehand cooled by the cooling section 20 to the temperature which can detect the drawn minute magnetic field.

[0016] In drawing 2, where the minute magnetic field which it is going to measure to the superconducting element 14 which consisted of dcSQUID components is applied, a fixed current is made as a sink in the source 28 of a direct current, and a dcSQUID component is made into operating state. A current is denied on the electric wire 15 laid so that the magnetic field which it is going to measure through the ion beam ammeter 26 might be negated on the other hand that a sink and a dcSQUID component are semi-static, and a current is adjusted to it. The amount of currents when changing into this semi-static condition turns into the amount of ion beam currents. Moreover, the judgment of whether to be in a semi-static condition is checked when the current wave form where denied on the electric wire 15 laid with the oscillator, and the 100kHz minute oscillation current was detected with the sink and the SQUID component with the current is 100kHz. In not being in a semi-static condition, it shows the value near 200kHz. The current detected by the SQUID component is led to a lock-in amplifier 32 through amplifier 30, it denies that it becomes the same as an input frequency here, and adjustable [of the current] is carried out, it denies at the point which became the same frequency, and a current is locked.

[0017] by operating as mentioned above, the indicated value of the ion beam ammeter 26 was proportional to the magnitude of an ion beam current — it becomes.

[0018] Furthermore, can be correctly rehabilitated of rehabilitation for the above-mentioned indicated value to express the magnitude of an ion beam current by passing the current of a known amount on the electric wire beforehand attached along the piping direction of the vacuum piping 10 inside the magnetic collector 16. In addition, the electric wire for this rehabilitation may remove after rehabilitation from the vacuum piping 10.

[0019] Therefore, by non-contact, continuously, the ion beam amperometry equipment and the approach of an example which are shown in drawing 1 and drawing 2 are measurable, and, moreover, can measure an ion beam current with a sufficient precision. Moreover, since it is arranged in the form where the magnetic collector 16 surrounds an ion beam 12, even if the location of a superconducting element 14 and an ion beam 12 changes, it can measure to stability.

[0020] Next, the example of a design is shown below.

[0021] 1. Set the unit of H (A/m) and magnetomotive force to NI (A) for the unit of a basic formula field.

[0022] Flux density B is [Equation 1]. $B = \mu_0 \mu H = \mu_0 \mu NI$ (T)

It can express. Here, the unit of flux density is T (tesla) and is $1(T) = 1(Wb/m^2)$. In addition, the unit of magnetic flux ** is set to Wb (weber).

[0023] Moreover, μ in the above-mentioned formula shows permeability, and, as for μ_0 , space permeability and μ show relative permeability, respectively.

[0024] In addition, it is $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} = 1.257 \times 10^{-6}$ (H/m), and is $1(H) = 1(Wb/A) = 1(V \cdot s/A)$.

It is $1(Wb) = 1(V \cdot s) = 1(H \cdot A)$.

[0025] The magnetic field strength produced according to the current which flows on an infinity length electric wire is [Equation 2] by the formula of a BIOSA bar. It is expressed $dH = (I/4\pi r)$ and $(dl-r) / r^3$. Here, the distance which results in the point that I expresses a current and the die length of a part of I with minute dl, and r expresses dH from the point of dl is shown.

[0026] 2. As for the magnetic field strength produced according to an infinity straight-line current, the formula of the following [value / to a negative infinity / integral] is drawn by the positive infinity from the formula of the above-mentioned BIOSA bar.

[0027]

[Equation 3] $H = \int_{-\infty}^{\infty} dH = I / 2\pi r$ formal twist, and the ion beam current that should be measured are the magnitude of 1microA, and from the point on the magnetic collector 16, i.e., a beam, when the diameter of the magnetic collector 16 sets to 11cm, the magnetic field strength of a 5.5cm point is as follows.

[0028] $H_{5.5} = 2.895 \times 10^{-6}$ (A/m)

In addition, magnetomotive force is $NI = 1 \times 10^{-6}$. (A)

It comes out.

[0029] 3. Set the diameter to 11cm as mentioned above, and let the cross section be a 1cmx1cm rectangle noting that you form the magnetic collector 16 of an annular permalloy in the perimeter of the magnetic-flux derived quantity beam by the magnetic collector 16 of a permalloy. However, since the size of a superconducting element 14 is smaller than the above-mentioned cross section, it is necessary to narrow down the part which leads magnetic flux to a superconducting element 14, and a cross section sets size of the narrowing-down part concerned to 0.5cmx0.5cm, and it sets the overall length of the part of the both sides of a superconducting element 14 concerned to 2cm. In this case, magnetic reluctance RB is [Equation 4]. $RB = (L1/\mu_0 \mu NI) + (L2/\mu_0 \mu NI)$
 $= 0.3254/(\mu_0, 1 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-4})$
 $+ 0.02/(\mu_0, 1 \times 10^{-6} - 2.5 \times 10^{-5})$
 $= 3225.1$ — here, the overall length of the above-mentioned narrowing-down part to which the overall length of the magnetic collector 16 and S1 lead the cross section to a superconducting element 14, and, as for L1, L2 leads magnetic flux, and S2 show the cross section, respectively.

[0030] Therefore, magnetic-flux ** becomes as follows.

[0031]

[Equation 5] $\Phi = NI/RB = 1 \times 10^{-6}/3225$. $\Phi = 3.101 \times 10^{-10}$ (Wb)

As mentioned above, the magnetic flux led to a superconducting element 14 through the magnetic collector 16 of a permalloy by the magnetic field as for which induction was carried out by the beam of 1 microA is set to 3.101×10^{-10} (Wb). Therefore, it will be set to 3.101×10^{-13} (Wb) if it is the beam of 1 nA.

[0032] 4. It is known that the inductance L of the superconducting element which carried out magnitude loop shape of a superconducting element 14 will be called for by the degree type.

[0033]

[Equation 6]

 $L = 4\pi \times 10^{-7} \times r \ln(r/a)$ (H)

Here, r is the radius (m) of a loop formation and a is the radius (m) of a strand.

[0034] When the radius of 2mm and a strand is set to 0.25mm for the radius of the loop formation of a superconducting element 14, the inductance L of a superconducting element 14 is [Equation 7] from the above-mentioned formula.

 $L = 4\pi \times 10^{-7} \times 2 \times 10^{-3} \ln(2/0.25)$ $= 5.23 \times 10^{-9}$ (H)

It becomes.

[0035] By the way, it must be 4kHz or more, and in order to operate stability in the noise by the thermal current etc., it must be $L \leq 2 \times 10^{-8}$ H, and in order to carry out still more reliable actuation, it is supposed that it is $L \leq 10^{-9}$ H.

[0036] Therefore, since the inductance L of a superconducting element 14 is 5.23×10^{-9} H, it is smaller than a upper limit required to operate to stability, and is the order of a value required for still more reliable actuation, and it turns out that the superconducting element 14 of this example operates to stability.

[0037] The magnetic field by which induction is carried out from the above-mentioned example of a design when 1 micro about A ion beam is passed is about 3.101×10^{-10} . It is (Wb), and in the magnetic field measurement by the superconducting element, since measurement of the minute magnetic field of 2.07×10^{-15} (Wb) extent is theoretically possible, the current of an ion beam is understood are measurable by the configuration of this invention also from a principle side.

[0038] Therefore, when 1 micro about A ion beam is passed, since [according to / in the magnetic field by which induction is carried out / a superconducting element] it is theoretically larger than a measurable magnetic field about about 5 figures, it is easily measurable if it is the beam output range of the accelerator with which it is usually used more than nA extent.

[0039] In addition, it responds to the application of the ion beam current made into the measuring object in the above-mentioned example although the magnetic-flux system of measurement using the dcSQUID component as a superconducting element 14 is used, and is RF. The magnetic-flux system of measurement using SQUID or which [other] superconducting element is sufficient.

[0040] Moreover, if the equipment of this invention can constitute at a low price by development of a high temperature superconductor etc. and the large thing of a measurement range is manufactured, the application, such as improvement in the improvement in the engine performance of an ion accelerator and the progression in quality of a product, and various kinds of experiment precision using the ion beam further, will become wide range.

[0041]

[Effect of the Invention] Since the ion beam amperometry equipment and the approach of measuring the ion beam current accelerated by the accelerator of this invention etc. are constituted as explained above, they do so effectiveness which is indicated below.

[0042] It is generated according to an ion beam current, and it is in the condition that the ion beam is flowing the magnetic flux of the magnetic field corresponding to the magnitude of the current by the superconducting element, and becomes possible to measure without affecting the flow of an ion beam, and enables this to measure an ion beam current.

[0043] Therefore, since the current can be measured by the ion beam and non-contact, an ion beam current can be measured under what kind of situation. For example, irradiating an ion beam at a product, the ion beam currently irradiated can be measured, and precision improves without the error by an exposure and measurement becoming separate like the approach using the conventional Faraday cup arising.

[0044] Moreover, the effect of a secondary electron disappears from it being non-contact like the approach using the conventional Faraday cup, and the accuracy of measurement improves also in respect of this.

[0045] Since this invention has the above effectiveness, it can apply to the industrial process using an accelerator widely, and the progression in quality of a product and improvement in experiment precision are achieved by using the equipment or the approach of this invention, or its equipment or approach of this invention is widely available to the application to accelerator control etc.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.*** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is drawing showing a part of fundamental configuration of the measuring device of the ion beam current of this invention, and one example of an approach in the form of a sectional view.

[Drawing 2] It is drawing showing the example which constituted the superconducting element 14 shown in drawing 1 and the ion beam ammeter 26, and the magnification control section of a superconducting element 14 from a dcSQUID fluxmeter.

[Description of Notations]

10: Vacuum piping

12: Ion beam

14: Superconducting element

16: A magnetic collector

18: Magnetic shielding

20: Cooling section

26: Ion beam ammeter

[Translation done.]

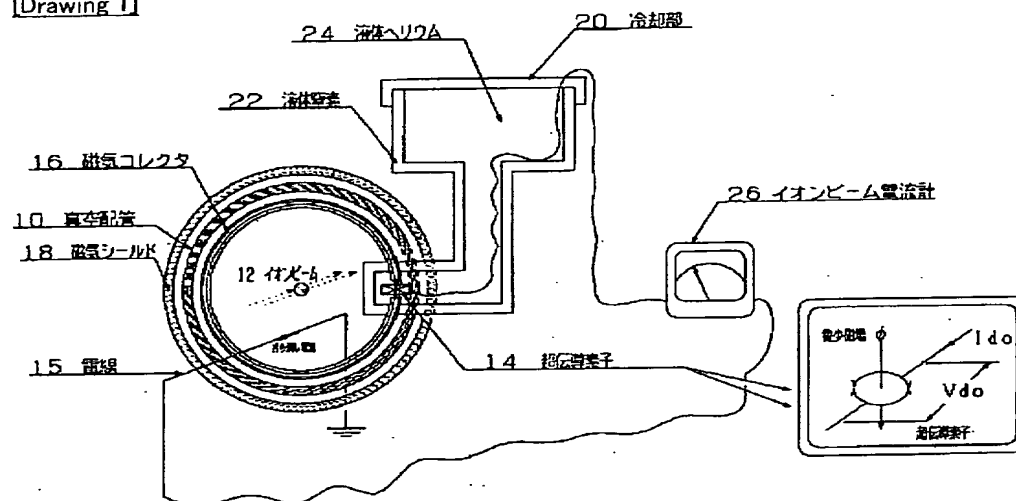
* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

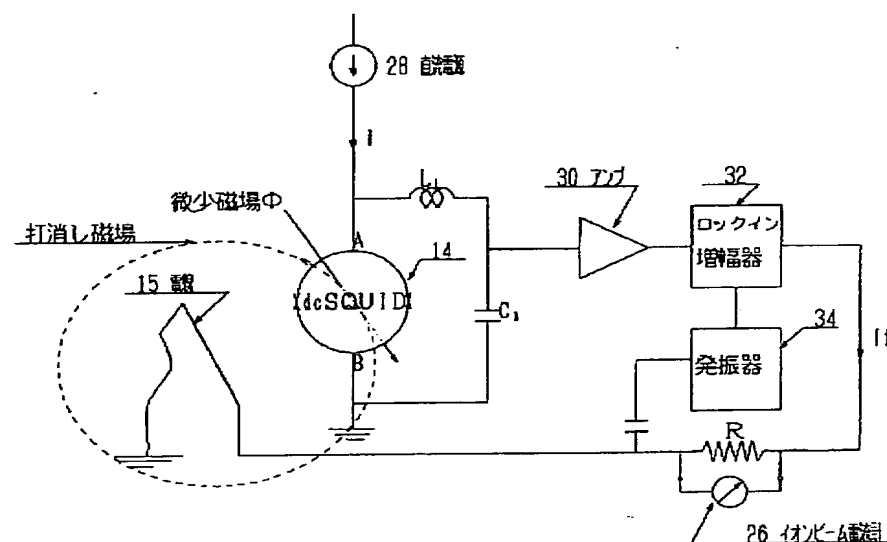
- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.*** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

[Drawing 1]



[Drawing 2]



[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-135099

(43) 公開日 平成7年(1995)5月23日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 5 H 7/00		9014-2G		
G 0 1 R 33/02	K	8203-2G		
33/035		8203-2G		
H 0 5 H 13/04	R	9014-2G		

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平5-279160

(22) 出願日 平成5年(1993)11月9日

(71) 出願人 000004097

日本原子力研究所

東京都千代田区内幸町2丁目2番2号

(72) 発明者 水橋 清

群馬県高崎市綿貫町1233番地 日本原子力
研究所高崎研究所内

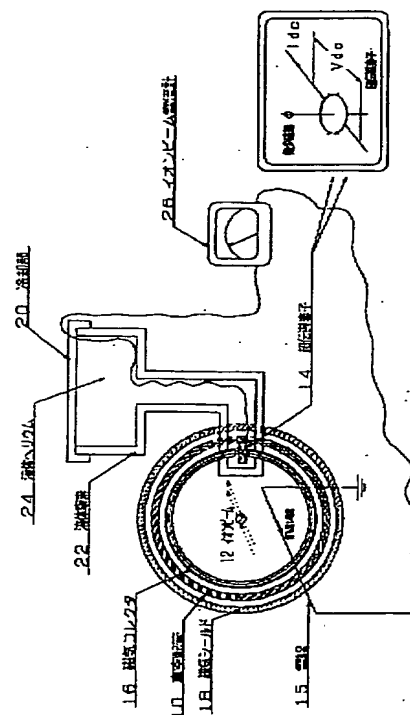
(74) 代理人 弁理士 湯浅 恭三 (外6名)

(54) 【発明の名称】 イオンビーム電流測定装置および方法

(57) 【要約】

【目的】 加速器等により加速されたイオンビームの流れを遮断せずイオンビーム電流を非接触で精度良く測定する装置および方法を提供する。

【構成】 真空配管10中を流れるイオンビームにより生じた磁場が磁気コレクタ(バーマロイ)16により超伝導素子14に導かれ、冷却部20により冷却された超伝導素子はその磁場の磁束を検出し、イオンビーム電流計26に表示することにより、イオンビーム電流が測定される。外部磁場の影響を除くため真空配管の周りに磁気シールド18が設けられている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 イオンビームの流れにより生じ、前記イオンビーム電流に対応した磁場を収集する磁場収集手段と、前記磁場収集手段により収集された磁場に感応する超伝導素子を有し、前記磁場の磁束を測定する磁束測定手段と、前記超伝導素子が前記磁場に感応する温度に前記超伝導素子を冷却する冷却手段と、前記イオンビームが流れている空間、前記磁場収集手段および前記超伝導素子をこれらに対する外部の磁場から磁気遮蔽する磁気遮蔽手段とを備えることを特徴とするイオンビーム電流測定装置。

【請求項2】 イオンビームの流れにより生じ、前記イオンビーム電流に対応した磁場を、それ以外の外部磁場を除いて収集するステップと、磁場に感応する温度に冷却された超伝導素子を用いて前記外部磁場を除く前記の収集された磁場の磁束を測定するステップとを備えることを特徴とするイオンビーム電流測定方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、加速器等によって加速されたイオンビーム電流を測定する装置および方法に関し、特に、イオンビーム電流を非接触かつ連続的に測定可能な装置および方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】現在、加速器等によって加速されたイオンビーム電流を精度良く測定する方法として、ファラデーカップを使用する方法がある。この方法は、イオンビームをカップ内に受けとめ、直接その電流量を測定するものである。

【0003】また、間接的にビームプロファイルモニタのピーク値よりビーム量を推定したり、ターゲット上に打ち込まれた電流量を測定する方法が取られている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】従来の方法は上記したように測定するので、イオンビームをカップ内で受けとめてしまうためイオンビーム電流を計測している間は製品等へのイオンビーム照射は行えなかった。逆に、製品等へイオンビーム照射を行っている間はイオンビーム電流を測定することができなかった。また、製品等への照射中におけるビーム電流の計測においてビームプロファイルモニタを使用する場合があるが、この方法ではピーク値の変化が正確にイオンビーム電流を表していないため、正確な照射時のイオンビーム量を測定していない。さらに、イオンビームをターゲット上で受けとめての測定では、ターゲットにイオンが衝突した瞬間に発生する2次電子が測定すべきイオンビーム電流量に与える影響が大きく、この影響を考慮してターゲット物質の種類お

よび形状によって補正し、イオンビーム電流量を求めているので、精度良く測定することができなかった。

【0005】本発明は、上記のような問題点を解決するためになされたもので、加速器等により加速されたイオンビームの流れを遮断せずにイオンビーム電流を非接触で、即ち2次電子の影響もなく精度良く測定する装置および方法を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明のイオンビーム電流測定装置は、イオンビームの流れにより生じ、前記イオンビーム電流に対応した磁場を収集する磁場収集手段と、前記磁場収集手段により収集された磁場に感応する超伝導素子を有し、前記磁場の磁束を測定する磁束測定手段と、前記超伝導素子が前記磁場に感応する温度に前記超伝導素子を冷却する冷却手段と、前記イオンビームが流れている空間、前記磁場収集手段および前記超伝導素子をこれらに対する外部の磁場から磁気遮蔽する磁気遮蔽手段とを備えることを特徴とする。

【0007】上記目的を達成するため、本発明のイオンビーム電流測定方法は、イオンビームの流れにより生じ、前記イオンビーム電流に対応した磁場を、それ以外の外部磁場を除いて収集するステップと、磁場に感応する温度に冷却された超伝導素子を用いて前記外部磁場を除く前記の収集された磁場の磁束を測定するステップとを備えることを特徴とする。

【0008】

【作用】上記のように構成された本発明のイオンビーム電流測定装置においては、磁場収集手段は、前記イオンビームの流れにより生じ、前記イオンビーム電流に対応した磁場を収集し、冷却手段により磁場に感応する温度まで冷却された超伝導素子が前記の収集された磁場に感応することにより、前記磁束測定手段は当該磁場の磁束を測定し、これにより、イオンビーム電流が測定される。なお、磁気遮蔽手段によりイオンビームが流れている空間、磁場収集手段および超伝導素子がこれらに対する外部の磁場から磁気遮蔽されているので、前記磁場収集手段および超伝導素子はノイズとなる外部磁場を除くイオンビームにより生じた磁場のみを収集してその磁場の磁束に感応することにより、磁束測定手段は精度良くイオンビームにより生じた磁場のみを測定することが可能となり、従って、イオンビーム電流が精度良く測定される。

【0009】上記のように構成された本発明のイオンビーム電流測定方法においては、前記イオンビームの流れにより生じ、前記イオンビーム電流に対応した磁場がそれ以外の外部磁場を除いて収集され、磁場に感応する温度まで冷却された超伝導素子を用いて前記外部磁場を除く前記の収集された磁場の磁束が測定され、これにより、イオンビーム電流が測定される。

【0010】

【実施例】始めに、本発明によるイオンビーム電流の測定原理を述べる。加速されたイオンビームは真空の管内を流れる電流とみなすことができる。そして、電流が流れるところには電流量に応じて必ず磁場が発生する。この磁場を精度良く測定すれば間接的にイオンビーム電流を測定することが可能である。しかし、加速されたイオンビームにより生じる磁場は通常それ程は多くなく、少ない磁場を精度よく測定するために通常のコイル等を用いた磁束計では測定できないので超伝導素子を利用して

【0011】その際、微小磁場を感度良く測定しようとするするとノイズとなる外部磁場の影響が生じるので、その影響を防止するための磁気シールドがイオンビームを囲むように設けられる。また、微小磁場を感度良く測定し、かつ測定素子である超伝導素子に対するイオンビームの位置によって測定値が変化しないようにするため、発生した磁場を効率良く収集して超伝導素子に導くパーマロイ等よりなる磁気コレクタがイオンビームの周りでかつ磁気シールドの内側に設けられる。さらに、超伝導素子は、それを安定に動作させるために断熱材等により外部温度環境から遮断され、冷却装置によって動作温度まで冷却されている。

【0012】次に、上記した測定原理に基づいた、本発明のイオンビーム電流の測定装置および方法の一実施例を図面を参照して以下に説明する。なお、本発明は、かかる実施例に限定されるものではない。

【0013】図1は、本発明のイオンビーム電流の測定装置および方法の一実施例の基本的構成を、一部断面図の形で示している。図1において、10は、例えば加速器等により加速されたイオンビーム12がその中を流れている真空配管を示す。真空配管10の内部は真空状態にされ、イオンビーム12は、その中を、即ち、図面においては用紙の面に対して直交する方向に流れる。流れているイオンビーム12によりその方向に直交して当該イオンビーム12を中心として円周状に発生する磁場は通常少ないので、それを集めて効率良く超伝導素子14に導くため、真空配管10の内部において、イオンビーム12を囲みリング状に例えばパーマロイ等の磁性体で作られた磁気コレクタ16が配設されている。超伝導素子14はリング状の磁気コレクタ16の一個所に介挿されている。磁気コレクタ16によりイオンビーム12により発生した磁場のみを収集して超伝導素子14に導き、超伝導素子14では当該磁場の磁束のみを検出するため、ノイズとなる真空配管10の外部磁場から真空配管10の内部を遮蔽するため真空配管10の外側にそれを囲むように磁気シールド18が設けられている。また、図面には表されていないが、本計測系の前後においても、ビームの妨げにならない磁気コレクタ16および

超伝導素子14を含む超伝導検出部が隠れるように磁気シールドが設けられている。超伝導素子14が磁場を検出できる温度まで冷却するための冷却部20が設けられ、冷却部20は、超伝導素子14を安定に動作させるために外部から熱を断熱する断熱材等から構成された断熱部を有し、冷却部20の外周部は一次冷却用として液体窒素22が入れられ、その内部には二次冷却の作用をする液体ヘリウム24が入れられている。超伝導素子14により検出された磁場の磁束は電流に変換され増幅制御部(後述)を介してイオンビーム電流計26により表示される。なお、理解を容易にするため、図1の一部において、超伝導素子14における微小磁場と電流・電圧との関係を模式的に示している。

【0014】図2は、図1に示される超伝導素子14およびイオンビーム電流計26と、超伝導素子14の増幅制御部とを、インダクタンスの小さい超伝導ループ中に2個のジョセフセン素子を含む公知のdcSQUID磁束計で構成した例を示す。図2において、14は2個のジョセフセン素子が並列接続されたコイルにより構成された超伝導素子を、28は直流電流源を、30は増幅器を、32はロックイン増幅器を、34は発振器をそれぞれ示し、L、CおよびRの記号はコイル、キャパシタおよび抵抗をそれぞれ示す。

【0015】次に、図1および図2に示されるように構成された本発明の一実施例であるイオンビーム電流の測定装置の動作を以下に述べる。図1において、磁気シールド18された真空配管10内をイオン化されたビームが走るとき生じる微小磁場が磁気コレクタ16により収集され、超伝導素子14に導かれる。この際、真空配管10内部は磁気シールド18により外部磁場から遮蔽されているため、磁気コレクタ16はイオンビーム12により生じた磁場のみを収集して超伝導素子14に導く。超伝導素子14は、導かれた微小磁場を検出できる温度まで冷却部20により予め冷却されている。

【0016】図2において、dcSQUID素子で構成された超伝導素子14に測定しようとする微小磁場がかけられた状態で、直流電流源28で一定の電流を流し、dcSQUID素子を動作状態にする。一方、イオンビーム電流計26を介して測定しようとする磁場を打ち消すように布設した電線15に電流を流し、dcSQUID素子が準静的状態となるように打ち消し電流を調整する。この準静的状態になった時の電流量がイオンビーム電流となる。また、準静的状態であるかの判定は発振器によって布設した電線15に打ち消し電流と共に100kHzの微小発振電流を流し、SQUID素子で検出した電流波形が100kHzであることによって確認する。準静的状態でない場合には200kHzに近い値を示す。SQUID素子によって検出した電流は増幅器30を介し、ロックイン増幅器32に導かれ、ここで入力周波数と同じになるように打ち消し電流を可変し、同じ

周波数になった点で打ち消し電流がロックされる。

【0017】以上のように動作することにより、イオンビーム電流計26の指示値は、イオンビーム電流の大きさに比例したものなる。

【0018】更に、上記指示値がイオンビーム電流の大きさを表すようにするための更正は、磁気コレクタ16の内側に真空配管10の配管方向に沿って予め付設した電線に既知量の電流を流すことにより正確に更正することが可能である。なお、この更正用の電線は、更正後は真空配管10から取り外しておいてもよい。

【0019】従って、図1および図2に示される実施例のイオンビーム電流測定装置および方法は、イオンビーム電流を非接触でかつ連続的に測定可能であり、しかも精度良く測定できる。また、磁気コレクタ16がイオンビーム12を囲む形で配設されているので、超伝導素子14とイオンビーム12との位置が変化しても安定に測定できる。

【0020】次に、設計例を以下に示す。

【0021】1. 基本公式

磁界の単位をH(A/m)、起磁力の単位をNI(A)とする。

【0022】磁束密度Bは

【数1】 $B = \mu H = \mu_0 \cdot \mu * \cdot H$ (T)

と表せる。ここで、磁束密度の単位はT(テスラ)であり、1(T)=1(Wb/m²)である。なお、磁束Φの単位はWb(ウェーバ)とする。

【0023】また、上記式の中のμは透磁率、μ₀は真空の透磁率、μ*は比透磁率をそれぞれ示す。

【0024】なお、μ₀=4π×10⁻⁷=1.257×10⁻⁶(H/m)であり、

1(H)=1(Wb/A)=1(V/s/A)

1(Wb)=1(V/s)=1(H·A)である。

【0025】無限長電線に流れる電流によって生じる磁界の強さはビオサバールの式によって

【数2】 $dH = (I/4\pi) \cdot (dl \cdot r) / r^3$

と表される。ここで、Iは電流、dlはIの一部分の微小な長さ、rはdlの点からdHを表す点にいたる距離を示す。

【0026】2. 無限直線電流によって生じる磁界の強さは上記ビオサバールの式より正の無限大より負の無限大までの積分値より下記の式が導かれる。

【0027】

【数3】 $H = \int dH = I/2\pi r$

本式より、測定すべきイオンビーム電流が1μAの大きさで、磁気コレクタ16の直径が11cmとすると、磁気コレクタ16上の地点、即ちビームから5.5cmの点の磁界の強さは次の通りである。

【0028】 $H_{5.5} = 2.895 \times 10^{-6}$ (A/m)

なお、起磁力はNI=1×10⁻⁶ (A)

である。

【0029】3. パーマロイの磁気コレクタ16による磁束誘導量

ビームの周囲に環状のパーマロイの磁気コレクタ16を設けるとして、その直径を上記のように11cmとし、その断面を1cm×1cmの矩形とする。但し、超伝導素子14に磁束を導く部分は、超伝導素子14のサイズが上記断面より小さいので、絞り込む必要があり、当該絞り込み部分のサイズは、断面が0.5cm×0.5cmとし、超伝導素子14の両側の当該部分の全長を2cmとする。この場合、磁気抵抗RBは

【数4】 $RB = (L_1/\mu_0 \cdot \mu * \cdot S_1) + (L_2/\mu_0 \cdot \mu * \cdot S_2)$
 $= 0.3254 / (\mu_0 \cdot 1 \times 10^6 \cdot 1 \times 10^{-4})$
 $+ 0.02 / (\mu_0 \cdot 1 \times 10^6 \cdot 2.5 \times 10^{-5})$
 $= 3225.1$

ここで、L₁は磁気コレクタ16の全長、S₁はその断面積、L₂は超伝導素子14に磁束を導く上記絞り込み部分の全長、S₂はその断面積をそれぞれ示す。

【0030】従って、磁束Φは次の通りとなる。

【0031】

【数5】 $\Phi = NI/RB = 1 \times 10^{-6} / 3225.1$
 $= 3.101 \times 10^{-10}$ (Wb)

以上から、1μAのビームによって誘起された磁場によってパーマロイの磁気コレクタ16を通して超伝導素子14に導かれる磁束は、3.101×10⁻¹⁰(Wb)となる。従って、1nAのビームであれば、3.101×10⁻¹¹(Wb)となる。

【0032】4. 超伝導素子14の大きさ

ループ形状をした超伝導素子のインダクタンスLは次式によって求められることが知られている。

【0033】

【数6】

$L \approx 4\pi \times 10^{-7} \times r \times \ln(r/a)$ (H)

ここで、rはループの半径(m)であり、aは素線の半径(m)である。

【0034】超伝導素子14のループの半径を2mm、素線の半径を0.25mmとすると、超伝導素子14のインダクタンスLは上記式より、

【数7】

$L \approx 4\pi \times 10^{-7} \times 2 \times 10^{-3} \times \ln(2/0.25)$
 $= 5.23 \times 10^{-9}$ (H)

となる。
 【0035】ところで、4KHz以上でかつ熱的な電流によるノイズ等のなかで安定に動作させるには、 $L \leq 2 \times 10^{-9}$ Hでなければならず、さらに信頼性の高い動作をさせるには、 $L \approx 10^{-9}$ Hであるとされている。

【0036】従って、超伝導素子14のインダクタンスLは5.23×10⁻⁹Hであるので、安定に動作するのに必要な上限値より小さく、さらに信頼性の高い動作に必要な値のオーダーであり、本実施例の超伝導素子14が

安定に動作することがわかる。

【0037】上記した設計例から、 $1\mu\text{A}$ 程度のイオンビームを流した時に誘起される磁場は約 3.101×10^{-10} (Wb)であり、超伝導素子による磁場測定では原理的に 2.07×10^{-15} (Wb)程度の微小磁場の測定が可能であることから、原理面からも本発明の構成によりイオンビームの電流を測定可能であることがわかる。

【0038】従って、 $1\mu\text{A}$ 程度のイオンビームを流した時に誘起される磁場が超伝導素子による原理的に測定可能な磁場よりほぼ5桁程度大きいことから、nA程度以上の通常使用されている加速器のビーム出力範囲であれば容易に測定可能である。

【0039】なお、上記実施例においては、超伝導素子14としてdcSQUID素子を用いた磁束測定系を利用しているが、測定対象とするイオンビーム電流の用途に応じてRF SQUIDや他のいずれの超伝導素子を用いた磁束測定系でもよい。

【0040】また、高温超伝導体の開発等によって本発明の装置が安く構成でき、また、測定レンジの広いものが製作されるならば、イオン加速器の性能向上および製品の質の向上、さらにはイオンビームを用いた各種の実験精度の向上等その応用は広範囲のものとなる。

【0041】

【発明の効果】本発明の加速器等によって加速されたイオンビーム電流を測定するイオンビーム電流測定装置および方法は、以上説明したように構成されているので、以下に記載されるような効果を奏する。

【0042】イオンビーム電流により生じ、その電流の大きさに対応した磁場の磁束を、超伝導素子によりイオンビームが流れている状態でかつイオンビームの流れに影響を与えずに測定することが可能となり、これにより*

*イオンビーム電流を測定することが可能となる。

【0043】従って、イオンビームと非接触でその電流を測定できるので、どんな状況下においてもイオンビーム電流が測定できる。例えば、製品にイオンビームを照射しながら、その照射されているイオンビームを測定でき、従来のファラデーカップを用いた方法のように照射と測定とが別々となることによる誤差が生じないで、精度が向上する。

【0044】また、非接触であることから、従来のファラデーカップを用いた方法のように2次電子の影響がなくなり、測定精度がこの面でも向上する。

【0045】本発明は、上記のような効果を有するので、加速器を用いた産業プロセスに広く応用可能で、本発明の装置又は方法を利用することにより製品の質の向上、実験精度の向上が図られ、あるいは本発明の装置又は方法は加速器制御への応用等にも広く利用可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のイオンビーム電流の測定装置および方法の一実施例の基本的構成を、一部断面図の形で示す図である。

【図2】図1に示される超伝導素子14およびイオンビーム電流計26と、超伝導素子14の増幅制御部とをdcSQUID磁束計で構成した例を示す図である。

【符号の説明】

10：真空配管

12：イオンビーム

14：超伝導素子

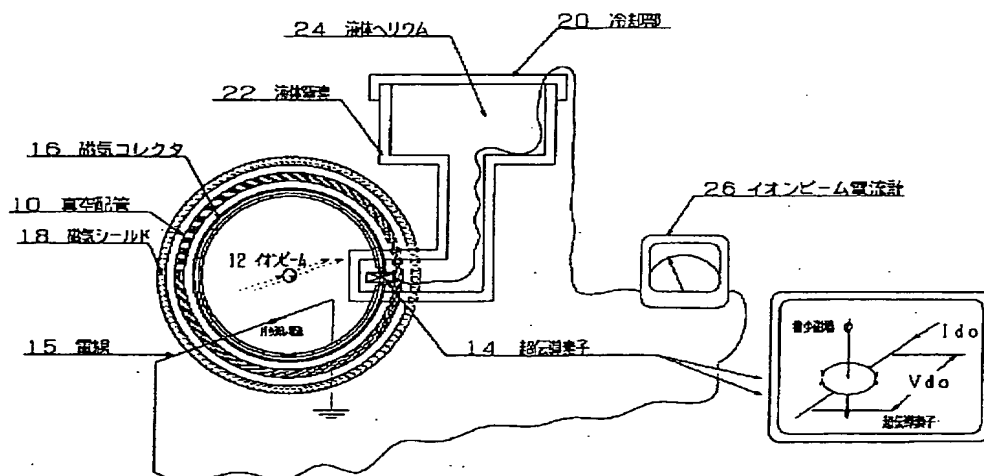
16：磁気コレクタ

18：磁気シールド

20：冷却部

26：イオンビーム電流計

【図1】



【図 2】

